

Применение АСМ для исследования шероховатости элементов изображающей оптики

М.В. Зорина, А.Е. Пестов, Н.И. Чхало

*Институт физики микроструктур РАН, 603087, Нижний Новгород, Россия
mzor@ipmras.ru*

Обсуждается специфика применения атомно-силовой микроскопии (АСМ) для измерения шероховатости изображающих оптических элементов. Описывается стенд на основе АСМ для измерения образцов сложной формы с большими латеральными размерами и методика измерений.

Application of AFM for the investigation the roughness of imaging optics elements

M.V. Zorina, A.E. Pestov, N.I. Chkhalo

Institute for Physics of Microstructures RAS, 603087, Nizhny Novgorod, Russia

The features of the application of atomic force microscopy for measuring the roughness of imaging optical elements are discussed. A stand on the basis of AFM for measuring samples of complex shape with large lateral dimensions and a measurement method is described.

По мере развития проекционной нанолитографии, рентгеновской микроскопии и астрономии возрастают требования к качеству изготовления и аттестации изображающей оптики применяемой в этих приложениях. Отличительной особенностью элементов, применяемых в данных системах, является их кривизна и суперполировка. Радиус кривизны может варьироваться от нескольких миллиметров до нескольких метров, а стрелка прогиба достигать 20 и более миллиметров. Для обеспечения дифракционного качества изображений таких систем необходимы подложки с неровностями (шероховатостями) поверхности по параметру СКО в диапазоне пространственных частот 10^{-3} - 10^2 мкм⁻¹ до 0.1-0.2 нм.

Необходимым условием решения этой задачи является адекватная метрология шероховатости. Как было показано в работе [1] наиболее адекватным методом измерения шероховатости является атомно-силовая микроскопия.

Во многих работах было показано, что величина СКО является масштабозависимой, т.е. зависит от размера снимаемого кадра, что не позволяет использовать ее как единую характеристику шероховатости поверхности. Тогда используя функцию спектральной плотности мощности (PSD), определяемую как Фурье образ от корреляционной функции поверхности, $PSD_{2D}(\vec{\nu}) = \left| \hat{F}[z(\vec{\rho})] \right|^2$ мы определяем шероховатость поверхности только в области определенных пространственных частот в диапазоне $\nu \in [1/L, N/2L]$, где L – размер кадра, а N – число точек на кадр. Тогда эффективная шероховатость в интервале частот $[\nu_{\min}, \nu_{\max}]$, определяется как $\sigma_{eff}^2 = \int_{\nu_{\min}}^{\nu_{\max}} PSD(\nu) d\nu$.

Для наших исследований важно спектральное распределение шероховатости, в том числе и по той причине, что шероховатости разных латеральных размеров по разному влияют на изображение.

Представленные в данное время на рынке атомно-силовые микроскопы, позволяют, с очень хорошей точностью изучать только плоские образцы [2, 3]. Тогда как при изучении криволинейных поверхностей необходимо ориентировать ось зонда максимально по нормали к поверхности для корректного подвода и получения максимальных кадров. Поэтому при изучении криволинейных поверхностей

исследователям приходится использовать нестандартные методы подвода головки микроскопа к образцу, что существенно снижает качество измерений и возрастает риск повреждения дорогостоящих образцов.

Для решения этой проблемы нами был создан стенд (Рис. 1) на основе специально разработанной головки АСМ компании НТ-МДТ [4]. На данном стенде можно изучать образцы с латеральными размерами до 300 мм и числовой апертурой $NA=0,4$.

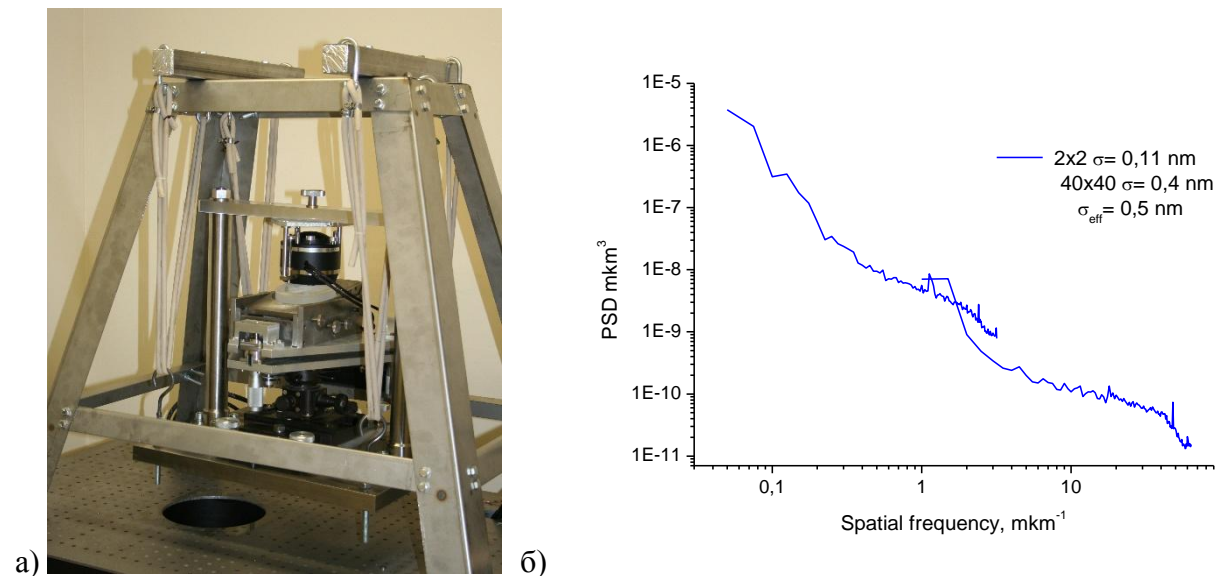


Рисунок 1. а) фотография стенда, б) PSD-функция шероховатости для вогнутой сферы с $R=130$ мм и диаметром 100 мм.

Метод АСМ не является «первопринципным» методом, так как результат зависит от качества зондов, заряда на поверхности и других артефактов измерений.

Данный стенд активно используется для исследований в области рентгеновской оптики с 2014 г.

1. М.М. Барышева, Ю.А. Вайнер, Б.А. Грибков и др., *Изв. РАН. Сер. физ.* **75**, 1. 71 (2011).
2. <https://www.ntmdt-si.ru/>
3. <https://www.bruker.com/ru/products/surface-and-dimensional-analysis/atomic-force-microscopes.html>
4. N.I. Chkhalo, N.N. Salashchenko, M.V. Zorina, *Rev. Sci. Instrum.* **86**, 016102 (2015).